

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra energetiky

Návrh malé vodní elektrárny
Project of Small Hydropower Plant

Student:	Viktor Mrázek
Vedoucí práce:	doc. Ing. Mojmír Vrtek, Ph.D.

Ostrava 2014

Zadání bakalářské práce

Student: **Viktor Mrázek**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 3907R009 Provoz energetických zařízení
Téma: **Návrh malé vodní elektrárny**
Project of Small Hydropower Plant

Zásady pro vypracování:

Zpracujte návrh malé vodní elektrárny pro vybranou lokalitu.

Práce bude obsahovat:

1. Rešerši na téma stav a perspektivy využívání vodní energie v ČR. Možnosti využití vodní energie na malých tocích.
2. Popis a analýzu současného stavu, údaje o stávajícím hydropotenciálu vybrané lokality.
3. Návrh výkonových parametrů a skladby malé vodní elektrárny.
4. Energetické, ekonomické a environmentální zhodnocení.

Seznam doporučené odborné literatury:

KAMINSKÝ, J., VRTEK, M. *Obnovitelné zdroje energie*. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 1998 . 102 s. ISBN 80–7078–445–8.
KMINIAK, P. *Vodné mikroelektrárne*. 1. vyd. Bratislava: ALFA, 1990. ISBN 80-05-00771-X.
GABRIEL, P., ČIHÁK, F., KALANDRA, P. *Malé vodní elektrárny*. Praha : ČVUT, 1998. ISBN 80-01-01812-1.
GULLIVER, J., S., ARNDT, R., E., A. *Hydropower engineering handbook*. 1. vyd. New York: McGraw-Hill, 1991. ISBN 0-07-025193-2.

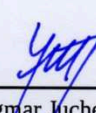
Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

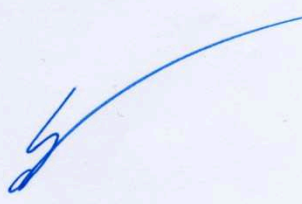
Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Mojmír Vrtek, Ph.D.**

Datum zadání: 17.02.2014

Datum odevzdání: 19.05.2014




prof. Ing. Dagmar Juchelková, Ph.D.
vedoucí katedry


doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh
vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce
a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě11.5. 2014.....

.....*Murávek*.....
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 11.5.2014

.....
podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Viktor Mrázek

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Josefovice 4,
Klimkovice 742 83

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

MRÁZEK, V. *Návrh malé vodní elektrárny: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra energetiky, 2014, 44 s. Vedoucí práce: Vrtek, M.

Bakalářská práce se zabývá vodní energetikou v ČR, návrhem a zhodnocením malé vodní elektrárny pro konkrétní oblast. V úvodních kapitolách práce je popsán stav a perspektiva využívání vodní energie v ČR a možnosti využívání vodní energie na malých vodních tocích. Praktická část práce se zaměřuje na vybranou lokalitu, na oblast Ostrava - Vítkovice, na řeku Ostravici. Na základě údajů o stávajícím hydropotenciálu této lokality je navržena malá vodní elektrárna pro tuto oblast. V závěru práce je provedeno energetické, ekonomické a environmentální zhodnocení navržené malé vodní elektrárny.

ANOTATION OF BACHELOR THESIS

MRÁZEK, V. *Project of Small Hydropower Plant: Bachelor Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Energy Engineering, 2014, 44 p. Thesis head: Vrtek, M.

This Bachelor Thesis concerns the hydropower energetics in the Czech Republic. It is focused on the project and evaluation of the small hydropower plant for the particular area. The state of the art and perspectives for utilization of hydropower energy in the Czech Republic as well as the possibilities of usage of small water-courses for energy harvesting are described in the first chapters of this thesis. The practical part of the thesis deals with the specified location Ostrava – Vítkovice and the river Ostravice. The small hydropower plant is designed based on the data of the current hydropower potential of this locality. Finally, the energetic, economic and environmental evaluation of designed small hydropower plant is performed.

Obsah

1. Úvod	1
2. Energie.....	2
3. Zdroje energie.....	3
3.1 Neobnovitelné zdroje energie	3
3.2 Obnovitelné zdroje energie	4
3.3 Ekologický přínos obnovitelných zdrojů energie	4
3.4 Obnovitelné zdroje a Evropská unie	5
4. Vodní energie	5
4.1 Historie využívání vodní energie v ČR.....	6
4.2 Využití vodní energie v ČR.....	6
4.2.1 Využití vodní energie ve velkých vodních elektrárnách	6
4.2.2 Využití vodní energie v malých vodních elektrárnách.....	6
5. Hydroenergetický potenciál.....	8
6. Hydroenergetické stavby	10
6.1 Klasifikace vodních elektráren.....	10
6.2 Základní části vodního díla a přehled zařízení.....	11
6.3 Technologické zařízení	12
6.3.1 Strojnítechnologické zařízení	12
6.3.2 Elektrotechnologické zařízení	13
7. Obecný postup při realizaci MVE	13
8. Příprava výstavby MVE	14
8.1 Výběr lokality (hodnotící údaje) a zásady pro dimenzování	15
8.1.1 Základní hodnotící ukazatele.....	15
8.1.2 Vedlejší hodnotící ukazatele.....	16
8.1.3 Zásady pro dimenzování.....	16
8.2 Projektová příprava	16
9. Technická zajištěnost v ČR	17
10. Využití nízkých spádů	17
10.1 Šnekové turbíny	17

10.2 Vírové MVE.....	17
11. Provoz MVE a legislativa	18
12. Konkrétní příklad	19
12.1 Návrh turbíny	20
12.2 Stanovení průměrného teoreticky využitelného průtoku a průměrného prakticky využitelného průtoku.....	21
12.3 Stanovení množství vyrobené elektrické energie v jednotlivých časových intervalech	23
12.4 Stanovení množství vyrobené elektrické energie za rok.....	27
12.5 Odhad investičních nákladů	27
12.6 Stanovení doby návratnosti	28
12.7 Ekologie	33
13. Závěr	34
14. Seznam zdrojů.....	35
15. Seznam tabulek	36
16. Seznam obrázků	37

1. Úvod

Bakalářskou práci na téma – Návrh malé vodní elektrárny jsem si vybral proto, že je mi sympatická myšlenka obnovitelných zdrojů. V souvislosti s obnovitelnými zdroji se v médiích nejčastěji věnuje pozornost sluneční energii. Je to dáno tím, že v posledních letech díky podpoře státu došlo k masivní výstavbě solárních elektráren. V menší míře se vyskytují články o větrné energetice. Nejčastěji se zmiňují jejich negativní dopady, jako je změna rázu krajiny, hluk, nebezpečí pro ptactvo, atd. Články o využití vodního potenciálu v malých vodních elektrárnách se v médiích vyskytují jen zřídka. Proto jsem se chtěl s problematikou vodních elektráren a zejména malých vodních elektráren více seznámit, abych zjistil proč tomu tak je. V literatuře jsem narazil na pojmy šneková turbína a vírové malé vodní elektrárny, o jejichž využívání v hydroenergetice jsem toho mnoho neslyšel a zajímal mne jejich přínos pro vodní energetiku.

V rešeršní části práce se seznámím se stavem a perspektivou využívání vodní energie v ČR a možnostmi využívání vodní energie na malých vodních tocích. V praktické části práce se pak zaměřím na vybranou lokalitu. Na základě údajů o stávajícím hydropotenciálu této lokality navrhnu výkonové parametry a skladbu malé vodní elektrárny, tzn. vyberu vhodný typ a počet turbín pro tuto oblast. Závěrem provedu energetické, ekonomické a environmentální zhodnocení.

2. Energie

Tato kapitola je zpracována z [1,2,3].

Slovo energie je odvozeno z řečtiny:

- ergon - znamená řecky čin
- energiea - znamená řecky činnost

Jednou z rozšířených definic energie je následující:

Energie je schopnost konat práci. Dodáváme-li nějakému stroji či zařízení energii, stroj koná práci. Energie může být v různé formě, například mechanická, elektrická, tepelná, jaderná apod. Různé formy energie se mohou přeměňovat jedna v druhou.

Život člověka na planetě Zemi a spotřebu energií ovlivnily:

- průmyslová revoluce v 18. století
- populační exploze
- rozvoj dopravy

Během posledních dvou století lidstvo prodělalo velmi rychlý vývoj díky obrovskému množství energie, kterou dokázalo uvolnit a využít z fosilních a jaderných paliv. Technický pokrok a prudký růst počtu obyvatel však vyvolává stále se zvyšující potřebu energií. Růst spotřeby energie lze doložit vyhodnocenou denní spotřebou energie, která již v nejvyspělejších průmyslových zemích přesáhla 250 kWh na jednoho obyvatele. Prehistorický člověk přitom spotřebovával asi jen 2 kWh za den. Potřeba energie poroste i nadále, protože průmyslově se budou rozvíjet i rozvojové země.

K zajištění dostatku energie přispívá:

- cílevědomé snižování její spotřeby
- zvyšování účinnosti technologických procesů
- hledání nových cest a zdrojů

Výroba energie s sebou přináší i druhotné jevy. Jsou to exhalace nežádoucích či dokonce jedovatých plynů a popílku, radioaktivní odpad, emise skleníkových plynů, kyselá dešť, celosvětové oteplování a tání ledovců.

Zajišťování energetických potřeb patří v současné době ke stěžejním globálním problémům lidstva. Je nutnou reakcí na růst světové populace, její stoupající požadavky i potřeby.

Lidstvo stojí před problémem, jak zajistit dostatek energií, především pro:

- elektrárny
- teplárny
- automobilismus

3. Zdroje energie

Tato kapitola je zpracována z [1,3,4,5].

Zdroje energie poskytují lidstvu energii, která je přeměňována na snadno využitelné druhy energií. Nejčastěji na energii tepelnou a elektrickou.

Energetické zdroje mohou mít charakter:

- **potencionální** - chceme-li tyto zdroje použít, musíme jejich vnitřní energii pomocí vhodných postupů a zařízení uvolnit
- **pohybový** - zařízení pro využívání této energie ji musí zachytit a zpracovat

Zdroje energie můžeme rozdělit na:

- **primární zdroje**
- **druhotné zdroje**

K **primárním zdrojům** jsou řazeny všechny zdroje energie, které vytváří příroda. Člení se na:

- **neobnovitelné zdroje** (vyčerpatelné zásoby)
- **obnovitelné zdroje**

Druhotné zdroje mají svůj původ v lidské činnosti. Jsou to odpadní produkty (např. odpadní teplo), které vznikají v technologických zařízeních jako důsledek nedokonalosti technologického procesu.

Často se také setkáváme s pojmem **alternativní (neklasické) zdroje energií**. Rozumí se zde energie vyrobená jiným způsobem, než spalováním fosilních paliv nebo štěpením jaderného paliva.

3.1 Neobnovitelné zdroje energie

Jedná se o zásoby paliv, které vznikly vlivem přírodních procesů před érou lidstva. Jsou uloženy v útrokách Země a jsou to zejména:

- **fosilní spalitelné materiály** (uhlí, ropa, plyn)
Vyčerpání jejich zásob je odhadováno na období mezi roky 2050 a 2100.
- **štěpné (radioaktivní) látky**
Zásoby uranu jsou rovněž omezené. Regenerace vyhořelého paliva je ve stadiu vývoje.

Prudký nárůst spotřeby energie je v ostrém protikladu se stavem vyčerpávajících se zásob neobnovitelných zdrojů. K dalšímu technickému pokroku nemůže nadále docházet cestou zvyšování výroby a spotřeby energie z neobnovitelných zdrojů (ropa, uhlí, zemní plyn), které se postupně vyčerpávají a také neúměrně zatěžují životní prostředí exhalacemi.

Emise lidské činnosti již překročily ekologicky únosné meze. Jsou narušeny klimatické poměry v celé Evropě, především ve střední. Všechny potřebné energie již nelze dále uvolňovat stávajícím způsobem. Jedinou možnou cestou dalšího vývoje civilizace je využití obnovitelných zdrojů energie.

3.2 Obnovitelné zdroje energie

Obnovitelné zdroje energie pro nás představují různé podoby slunečního záření. Díky tomu, že na Zemi neustále dopadá nesmírné množství energie ze Slunce, existuje také energie vody, větru, biomasy, dokonce i teplo ve vzduchu. Před obdobím průmyslové revoluce byla energie Slunce jediným energetickým zdrojem lidstva. V dnešní době se k obnovitelným zdrojům energie vracíme z mnoha důvodů. Jedním z nich je i fakt, že slunce svítí zadarmo. Obnovitelné zdroje se díky slunečnímu záření a dalším procesům neustále obnovují. Jsou tedy po dobu lidské existence nevyčerpatelné, protože i lidská existence je přímo závislá na životnosti Slunce.

K obnovitelným zdrojům energie se řadí:

- vlastní síla a síla zvířat
- energie slunce
- energie větru
- energie vody
- energie moří (mořských proudů)
- energie rostlin (akumulovaná v biomase)
- energie geotermální
- energie nízkopotenciální

Kromě četných pozitiv mají však obnovitelné zdroje energie i svá negativa. Tato energie je dražší, neboť malovýroba je vždycky dražší než velkovýroba. Velké přehrady porušují ekologickou rovnováhu a zatopují půdu. Větrné elektrárny mění ráz krajiny a obtěžují hlukem. Kotle na biomasu rovněž produkují exhalace. Tyto zdroje energie jsou časově velmi proměnlivé (např. slunce nesvítí v noci, vítr na našem území fouká spíše málo a nepravidelně apod.). Navíc jsou tyto zdroje většinou schopny poskytovat jen omezené množství energie, což silně omezuje jejich přímé použití ve většině průmyslových odvětví.

I přes uvedená negativa však není využívání obnovitelných zdrojů energie pouze nějakým krátkodobým módním trendem. Je to nezbytná snaha o sebezáchovu lidské společnosti v přiměřeně přijatelném životním prostředí.

3.3 Ekologický přínos obnovitelných zdrojů energie

Ekologický přínos obnovitelných zdrojů energie spočívá v tom, že 1kWh získaná přeměnou sluneční energie umožní uspořit minimálně: 5g prachu, 27g SO₂, 4,2g NO_x a 2kWh termoemisí.

3.4 Obnovitelné zdroje a Evropská unie

Vstup České republiky do Evropské unie způsobil, že je nutné zvýšit řadu aktivit, které podporují výrobu elektrické energie z obnovitelných zdrojů. K významnému obnovitelnému zdroji v ČR patří bezesporu využití energie vodních toků. Na jedné straně existuje mnoho podnětů pro podporu rozvoje malých vodních elektráren (MVE) v Evropě. Na druhé straně však současně omezuje jejich rozvoj mnoho bariér v podobě regulačních předpisů a předpisů na ochranu životního prostředí.

Typickým příkladem je evropská rámcová směrnice o ekologické jakosti vody. Tato směrnice zavazuje členské země EU zachovávat dobrý ekologický stav vody v řekách. Zavádění této směrnice do národních legislativ členských zemí může mít negativní důsledky na výrobu elektřiny v MVE. V protikladu s tímto nařízením však může být fakt, že členské země musí současně respektovat také evropskou směrnici, která požaduje zvýšení podílu výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů na celkové výrobě elektřiny. Budoucnost MVE tak bude do značné míry záviset na tom, jak dobře se podaří členským zemím sladit protichůdné požadavky obou těchto směrnic.

V ČR se za malou vodní elektrárnu (MVE) považují zařízení s výkonem do 10 MW, v EU do 5 MW.

4. Vodní energie

Tato kapitola je zpracována z [2,3,4,6].

Vodní energie je považována za energii obnovitelnou. Jejím zdrojem jsou déšť a sníh v koloběhu vody v přírodě, který je způsobován a udržován sluneční energií. Už odedávna patří k základním způsobům získávání energie právě využívání vodních toků. Hydroenergetický potenciál patří k přírodnímu bohatství téměř každé země. Jeho využití na výrobu elektrické energie ve vodních elektrárnách (VE) a malých vodních elektrárnách (MVE) je však rozdílné. Je určeno přírodními podmínkami a stupněm hospodářského, technického a společenského rozvoje dané země.

Vodní energii můžeme rozdělit na:

- energii moře a mořských proudů
- energii řek, říček a potoků

Energii z vody je možno získat:

- využitím jejího proudění - energie pohybová, kinetická
- využitím jejího tlaku - energie potenciální, tlaková
- využitím obou těchto energií současně

Podle způsobu využití potom rozlišujeme i používané typy vodních strojů.

Kinetická energie (pohybová) je ve vodních tocích dána rychlostí proudění. Rychlost je závislá na spádu toku. Tato energie se využívá vodními stroji rovnotlakými, které jsou založeny na rotačním principu. Dříve se využívala vodními koly, dnes turbínami typu Bánki a Pelton.

Energie potenciální (tlaková) vzniká v důsledku gravitace a závisí na výškovém rozdílu hladin. Rozdíl těchto dvou potenciálů vytváří tlak, který se využívá v přetlakových strojích. Využívá se pomocí turbín typu Kaplan, Francis, Reiffenstein a také pomocí různých typů turbín vrtulových a vhodných čerpadel v turbínovém provozu.

4.1 Historie využívání vodní energie v ČR

Využití vodní energie má u nás dlouhou tradici. Ještě v roce 1930 bylo na území tehdejšího Československa evidováno téměř 17 tisíc elektráren, mlýnů, pil, hamrů a dalších zařízení, která využívala vodní energii. V padesátých letech minulého století však byla většina z nich úmyslně zlikvidována, protože představovala konkurenci pro centrálně řízené socialistické hospodářství. Počátkem osmdesátých let bylo v ČR pouze asi 135 malých vodních elektráren (MVE). Během následujících deseti let vzrostl jejich počet zhruba na 900. V roce 2009 bylo v ČR evidováno 1354 malých vodních elektráren s výkonem do 1 MW [6].

4.2 Využití vodní energie v ČR

V bilanci naší energetiky není energie získávána z vodních toků zdaleka rozhodující a ani není příliš výrazným přínosem. Přesto však zůstává velmi cenným, avšak dosud málo využitým, obnovitelným zdrojem energie. Na celkovém instalovaném výkonu v naší republice se vodní elektrárny podílejí přibližně 17% a na výrobě asi 4%.

4.2.1 Využití vodní energie ve velkých vodních elektrárnách

V ČR nejsou přírodní podmínky pro budování velkých vodních energetických děl zcela příznivé. Naše řeky nemají potřebný spád ani dostatečné množství vody. Navíc výstavba velkých vodních elektráren přináší výrazný zásah do životního prostředí v podobě přehradních hrází, zatopených oblastí, změn vodního režimu a podobně. Potenciál pro jejich stavbu už je u nás v podstatě vyčerpán.

4.2.2 Využití vodní energie v malých vodních elektrárnách

Pojmem MVE jsou u nás podle ČSN 73 6881 označovány všechny vodní elektrárny s instalovaným výkonem do 10 MW.

Česká republika je svojí geografickou polohou (leží na rozvodí tří moří a pramení zde řeky) přímo předurčena k využití vodní energie v malých vodních elektrárnách. V budoucnu se bude pozornost zaměřovat na využití vodní energie v MVE a mikrozdrojích

právě proto, že z hlediska územního rozložení zdrojů vodní energie se zde nachází téměř 70% hrubého potenciálu.

Potenciál řek v ČR je využíván následovně:

- technicky využitelný potenciál řek v ČR - 3 380GWh/rok
- z toho potenciál využitelný v MVE - 1 570GWh/rok
- potenciál využitý v současné době v MVE - 700GWh/rok, tj. 40%

Z výše uvedených čísel lze usuzovat, že v České republice by měl být stále ještě dostatek lokalit pro výstavbu nebo obnovu MVE. Zhodnotit dosud nevyužitý potenciál je v podstatě možné třemi cestami:

- modernizací stávajících MVE
- výstavbou nebo obnovou MVE na místech zaniklých zařízení
- výstavbou MVE v nových lokalitách

Modernizace stávajících MVE

Ve stávajících MVE mnohdy fungují stroje staré kolem 100 let. Je zde tedy příležitost nahradit je účinnějšími. Zavedení moderní technologie formou instalace moderních, účinnějších turbín a soustrojí by umožnilo využít vodní potenciál efektivněji. Produkce by se mohla zvýšit až o několik desítek procent.

Výstavba nebo obnova MVE na místech zaniklých zařízení

V dnešní době existuje několik tisíc lokalit vhodných k výstavbě nebo obnově MVE na místech dnes zaniklých zařízení v původních mlýnech, pilách a hamrech. Zásadním problémem je však ekonomika. Vodní díla, jezy, náhony a přivaděče jsou dnes často zcela zničené. Jejich vybudování je velmi nákladné a často i administrativně složité. Přesto může mít smysl původní díla obnovovat. Ta totiž obvykle maximálně využívala vodní potenciál daného toku. Bývá tedy výhodné dodržovat původní délky přivaděčů, výšku jezu atd. Omezením je však ochrana přírody, ne všude jde MVE obnovit.

Výstavba MVE v nových lokalitách

Lokality, které čekají na území naší republiky na využití formou nové výstavby, mají výrazně horší hydrologické podmínky. Vyznačují se převážně **nízkými** (do 5 m) a **extrémně nízkými** (do 2 m) spády. Nevyužité lokality s vyššími spády budou k dispozici jen velmi zřídka. Využití nízkých spádů je ekonomicky méně výhodné a technicky náročné. Z toho vyplývá, že příští realizace MVE se budou vyznačovat delší dobou návratnosti vložených investic. Lze však předpokládat, že s rostoucími cenami energií naleznou i lokality s nízkými a extrémně nízkými spády své využití.

Z hlediska dispozice a rozložení zdrojů vodní energie na našem území mají MVE velkou přednost v tom, že jsou rozptýleny po celém území. To je výhodné pro připojování do

energetické sítě, kde nezatěžují přenosovou soustavu. MVE se vyznačují podstatně delší životností, než je doba návratnosti investic vložených do zřízení. Lze tedy tvrdit, že energie z MVE patří k nejlevnější získávané elektrické energii. Navíc je ekologicky čistá. MVE může v mnoha směrech i kladně ovlivňovat režim vodního toku.

5. Hydroenergetický potenciál

Tato kapitola je zpracována z [7].

Hydroenergetický potenciál (HEP) můžeme rozdělit na dvě základní skupiny: primární a sekundární.

Primární hydroenergetický potenciál

Koloběh vody v přírodě způsobuje, že každý vodní tok představuje určité množství vodní energie. Primární hydroenergetický potenciál je základní údaj o vodním toku, který udává, jakou energii v kWh/rok tvoří jeho průtoky. Z hlediska praktického využití je zajímavější **reálně využitelný hydroenergetický potenciál**. Můžeme ho zjednodušeně definovat jako součet roční výroby ve zrealizovaných elektrárnách.

Sekundární hydroenergetický potenciál

Jedná se o energii, kterou je možné získat z dříve načerpaného množství vody z níže ležící nádrže do výše položené.

Přednosti využívání HEP:

- je to trvalý, nevyčerpatelný, stále se obnovující zdroj založený na koloběhu vody v přírodě
- jde o zdroj vlastní, nezávislý na okolních zemích (s výjimkou hraničních toků)
- neznečišťuje ovzduší a neprodukuje odpad, který je třeba skladovat nebo likvidovat
- je to pohotový zdroj, který dokáže rychle reagovat na změny zatížení elektrizační soustavy
- má nízké provozní náklady při dlouhé životnosti a vysokém počtu provozních hodin
- vyžaduje malý počet provozních zaměstnanců (mnohé plně automatizované vodní elektrárny pracují bez obsluhy)
- při citlivém a technicky správném řešení nezpůsobuje devastaci přírody

U vodních elektráren přitom není cenná jen samotná výroba elektrické energie. Velmi důležitá je i schopnost rychle reagovat na změny zatížení v elektrifikační soustavě v energetických špičkách. Navíc vodní elektrárny slouží jako poruchová rezerva systému při krytí výpadků jiných zdrojů. Přecherpací vodní elektrárny plní i nezastupitelnou úlohu akumulátoru energie ve formě hydraulické energie načerpané vody v horní nádrži. Tuto energii je pak možné přeměnit zpět na energii elektrickou.

Provoz vodních elektráren je sice závislý na okamžitých průtokových podmínkách daného vodního toku, přesto jsou na rozdíl od jiných obnovitelných zdrojů (např. větrných či solárních elektráren) zárukou nepřerušované souvislé dodávky určitého množství elektrické energie.

Negativa využívání HEP:

- kolísavost příkonu – sezónní kolísání a závislost na počasí
- značné investiční náklady pro stavbu vodních děl
- nároky na plochu (vyjma průtočných)
- omezený počet vhodných profilů

Dále se pak uvádějí hlediska ekologická:

- změna průtokových poměrů
- zvýšení sedimentační či erozní činnosti toku
- změna režimu podzemní vody
- průchodnost ryb a vodních živočichů přes stupně na tocích
- případný únik mazadel (ropných látek)
- změny kvalitativních vlastností vody
- ohrožení vodních živočichů chodem turbín
- změny druhového složení vodních organismů
- ovlivnění břehových prostorů
- hluchost provozu
- urbanistické zásahy do okolního krajinného prostředí
- ovlivnění rekreační plavby

Často se uvádí, že MVE okysličují vodu a tím zvyšují její samočisticí schopnost. Je třeba upozornit na to, že voda se okysličuje jen v některých turbínách (Peltonova, Bánkiho). U jiných naopak může docházet ke snížení obsahu vzduchu ve vodě.

6. Hydroenergetické stavby

Tato kapitola je zpracována z [4,7,8].

HEP se využívá v hydroenergetických stavbách a to ve vodních elektrárnách a malých vodních elektrárnách. Jsou to stavby, ve kterých se setkávají dva rozdílné systémy:

- hydrologicko-hydraulický systém vodních toků
- elektrizační soustava – systém výroby, rozvodu a spotřeby elektrické energie

V principu jsou malé vodní elektrárny (MVE) velmi jednoduchá zařízení. Na vodní tok navazuje vtokový objekt (jez, přehrada), který soustřeďuje průtok a zvyšuje spád vodního toku. Voda je přivedena přivaděčem přes česle (hrubé a jemné), které zadržují mechanické nečistoty, do strojovny. Tam se hydraulická energie vody v turbíně mění na mechanickou. Mechanická energie z turbíny je přes hřídel přenášena do generátoru, kde se mění na elektrickou energii.

6.1 Klasifikace vodních elektráren

Vodní elektrárny můžeme klasifikovat podle různých hledisek. Často se používá hledisko uspořádání vodních elektráren, hledisko velikosti instalovaného výkonu, velikosti využívaného spádu a možnosti hospodaření s vodou.

Rozdělení podle uspořádání vodních elektráren:

- průtočné elektrárny (říční) – jsou umístěné v přímém kontaktu s vodním tokem. Podle dispozice mohou být břehové, nebo pilířové, vždy v kontaktu s tělesem jezu.
- derivační elektrárny – umístěné na uměle vytvořeném kanálu. Po určitém úseku derivace se voda vrací do původního toku. Derivace mohou být vytvořeny otevřeným kanálem nebo uzavřeným potrubím.
- akumulární elektrárny (přehradové) – jsou součástí vodních děl - nádrží. Vodní nádrže využívají pro akumulární (přerušovaný) špičkový provoz. Tato vodní díla kromě akumulace vody pro výrobu elektrické energie stabilizují průtoky říčním korytem, chrání před povodňovými vlnami a podporují ekonomicky výhodné plavební možnosti vodních toků.
- přečerpávací elektrárny – mají schopnost operativně řešit zvýšenou potřebu elektrické energie v období energetických špiček. Jde v principu o soustavu dvou nádrží. Voda vypouštěná spádem z horní nádrže vyrábí elektřinu v době její největší potřeby. Mimo špičku se při využití tzv. levné elektřiny voda přečerpává z dolní nádrže zpět do horní.
- vyrovnávací elektrárny – k vyrovnávání odtoků z akumulární elektrárny.

Rozdělení podle velikosti instalovaného výkonu:

- malé vodní elektrárny s instalovaným výkonem do 10 MW
- střední vodní elektrárny s instalovaným výkonem od 10 do 200 MW
- velké vodní elektrárny s instalovaným výkonem nad 200 MW

Rozdělení podle velikosti spádu:

- nízkotlaké využívající spád do 20 m
- středotlaké využívající spád od 20 do 100 m
- vysokotlaké využívající spád nad 100 m

Rozdělení podle možnosti hospodaření s vodou:

- průtočné
- regulační

Průtočné VE zpracovávají okamžité průtoky vody. Využívají jen přirozený průtok až do hodnoty hltlosti turbín. Dodávka výkonu do energetické sítě je u nich v čase proměnlivá a závisí zcela na okamžitém průtoku. Patří sem většina malých vodních elektráren.

Regulační VE bývají vybudované pod akumulacími nádržemi, které jsou nezbytné pro regulaci průtoků.

Akumulace vody v nádržích může být:

- přirozená – tj. akumulace vody jen z přirozených přítoků
- umělá – tj. akumulace vody jen z přečerpávání
- smíšená – tj. akumulace vody z přirozených přítoků i z přečerpávání současně

6.2 Základní části vodního díla a přehled zařízení

Vzdouvací zařízení slouží ke vzduť vodní hladiny v toku a usměrnění vody do přivaděče (přehradní hráze a jezy).

Přivaděče koncentrují spád do místa instalace vodní turbíny. Beztlakové přivaděče (náhony, kanály) se budují převážně výkopem v terénu a mohou být otevřené i zakryté. Tlakové přivaděče je možné z konstrukčního hlediska rozdělit na tlaková potrubí a štoly. Tlaková potrubí jsou nejčastěji zhotovena z ocelových trub, případně ze železobetonu. Štoly jsou raženy přímo v horninách, případně jsou opatřeny obezdívkou.

Česle bývají zhotovené převážně jako mříž z ocelové pásoviny. Zabraňují vnikání vodou unášených nečistot do turbíny. Obvykle jsou před turbínou nejméně dvoje: hrubé a jemné. Často bývají s automatickým čištěním.

Strojovna je objekt, ve kterém je umístěno základní technologické zařízení. Je v ní tedy umístěn soubor strojů a zařízení, které jsou potřebné k výrobě elektrické energie a zajištění provozu.

Rozvodna je objekt, pomocí kterého je elektrárna připojena na elektrizační soustavu a přes který je do soustavy vyveden výkon.

Odpadní kanály vracejí vodu do původního koryta. Často bývají tak krátké, že náročnost jejich výstavby a náklady na ně jsou vůči ostatním částem elektrárny bezvýznamné.

6.3 Technologické zařízení

V současné době se k získávání energie z vodních zdrojů nejčastěji používá hydroagregát. Je složen z vodního stroje (nejčastěji turbíny) a z hydroalternátoru (generátoru) nebo motorgenerátoru (u přečerpávacích vodních elektráren).

Vodní turbína je rotační vodní motor. Jeho rotující část je lopatkové oběžné kolo, kterému voda předává svou mechanickou energii.

Hydroalternátor (generátor) je vícepólový synchronní (případně asynchronní) rotační elektrický stroj, který přeměňuje mechanickou energii hřídele vodního motoru na střídavý elektrický proud.

Technologické zařízení vodní elektrárny můžeme rozdělit na:

- strojnětechnologické
- elektrotechnologické

6.3.1 Strojnětechnologické zařízení

Nejdůležitější část strojnětechnologického zařízení VE tvoří vodní turbína. Vodní turbíny lze rozdělit podle různých faktorů. Za jedno ze základních hledisek dělení je považován způsob přenosu energie vody na oběžné kolo:

- rovnotlaké turbíny (akční)
- přetlakové turbíny (reakční)

V rovnotlakých turbínách zůstává tlak vody stále stejný. To znamená, že voda má při výstupu z turbíny stále stejný tlak jako při vstupu do ní.

U přetlakových turbín vstupuje voda do oběžného kola s určitým přetlakem a ten při průtoku klesá. Voda tedy vychází z turbíny pod nižším tlakem, než pod kterým do ní vstupuje.

Za pozornost stojí i turbíny reverzibilní, které se používají v přečerpávacích elektrárnách. Tyto turbíny mohou pracovat v provozu jak turbínovém, tak i čerpadlovém.

6.3.2 Elektrotechnologické zařízení

Do řešení problematiky elektrotechnologické části můžeme zařadit následující oblasti:

- **návrh generátoru**
Generátor zajišťuje vlastní přeměnu mechanické energie na elektrickou. Je potřeba vhodně zvolit jeho výkon, otáčky, jmenovité napětí, typ (asynchronní, synchronní).
- **vyvedení energie**
Způsob vyvedení energie vyrobené v MVE je převážně ovlivněn výkonem elektrárny a jejím umístěním. Současně je třeba respektovat připojovací podmínky provozovatele sítě.
- **vlastní spotřeba MVE**
A to jak za chodu MVE, tak i v době, kdy elektrárna v provozu není.
- **automatizace**
Při řešení automatizace MVE je třeba vyvážit dva protichůdné požadavky. Požadavek nízké pořizovací ceny na straně jedné a požadavek bezobslužného provozu s vysokým komfortem pro obsluhu s malou odborností na straně druhé.
- **ochranný a zabezpečovací systém**
Obsahuje strojní i elektrické ochrany a diagnostické funkce řídicího systému.

7. Obecný postup při realizaci MVE

Tato kapitola je zpracována z [2,7].

Projekt MVE by měli vždy řešit zástupci tří profesí: stavař-hyrotechnik, strojař a elektrikář. Tato zásada komplexního řešení by měla platit jak pro přípravu projektu nové elektrárny, tak i pro přípravu rekonstrukce již existujícího díla.

Projekt nového zařízení umožňuje plně využít nové technologie, nová koncepční řešení a společně se strojní a stavební částí vytvořit nové zařízení, které bude optimálně fungovat.

V případě rekonstrukce stávajícího zařízení je třeba respektovat ty části zařízení a jejich řešení, které již existují. Při rekonstrukci je třeba citlivě rozhodnout o hloubce zásahu do původního díla. Nejčastěji rekonstruovanou částí je právě část elektrotechnologická, která stárne nejrychleji. A to jak po stránce fyzické, tak především po stránce morální.

Za všeobecný postup při realizaci jakékoli stavby (nejen vodní) je možné označit následující kroky:

- příprava
- projekce
- výstavba
- následný provoz

U vodních staveb by se měli na všech těchto etapách podílet odborníci různých profesí:

- stavbaři z oblasti vodních a inženýrských staveb
- strojaři – konstruktéři vodních turbín a pomocných zařízení
- elektrotechnici z oblasti točivých strojů, kontrolních a měřicích zařízení a přenosu elektrického proudu

Volba konkrétního řešení závisí na vyhodnocení následujícího souboru podmínek:

- přírodních
- hydrologických
- topografických
- geologických
- dalších

Investor, který chce vybudovat MVE, musí při jejím zřizování učinit určité kroky. Ty je možné rozdělit do tří oblastí:

- předprojektová příprava
- získání stavebního povolení
- realizace

Pro všechny vodní stavby se vypracovává plán hospodaření s vodou. Pokud má vodní stavba i energetické využití, zpracovává se vodohospodářsko-energetický plán. Ten harmonizuje vodnost toku s hospodářskými aspekty a potřebami elektrizační soustavy.

8. Příprava výstavby MVE

Tato kapitola je zpracována z [2,7].

Zájemce o vybudování MVE musí během přípravy výstavby provést několik důležitých činností. Období přípravy výstavby MVE lze rozdělit na dvě základní fáze:

- výběr lokality s jejím předběžným ohodnocením a posouzením
- projektová příprava

Velmi důležité je i prověření následujících skutečností:

- majetkově- právní vztahy
- technicko-vodohospodářské poměry
- ochrana přírody
- zájmy památkové ochrany
- stanovisko veřejnosti
- trasa vyvedení elektrického výkonu z MVE

8.1 Výběr lokality (hodnotící údaje) a zásady pro dimenzování

8.1.1 Základní hodnotící ukazatele

K ohodnocení konkrétní lokality z hlediska využití hydroenergetického potenciálu slouží dva základní parametry – využitelný spád a průtočné množství vody v daném profilu, který máme v úmyslu využít.

Podklady o spádu a průtocích, tedy dvou rozhodujících ukazatelích pro výběr lokality, je potřeba mít od začátku co nejspolehlivější. Pro návrh průtoku přes MVE a návrh turbín se využívají údaje o průměrných denních průtocích v dané oblasti příslušného vodního toku. Kromě těchto údajů je třeba zajistit i údaje o povodňových průtocích. Na ně se dimenzují objekty, které s MVE souvisí, například jez.

Spád

Spád lze definovat jako výškový rozdíl mezi vodními hladinami. V praxi se většinou rozlišují dva druhy spádů:

- **Hrubý spád** H_b (brutto, celkový) je celkový statický spád, který je daný rozdílem hladin při nulovém průtoku vodní elektrárnou.
- **Užitný spád** H (čistý, netto) se od hrubého spádu liší odečtením hydraulických ztrát. Ty vznikají při provozu těsně před vodním motorem a za ním (v přiváděči a odpadu) vlivem poklesu hladiny horní vody a vlivem vzduť hladiny spodní vody. Dále pak tyto ztráty vznikají změnami směru toku a objemovými ztrátami (v česlích, v přiváděcím kanálu, v potrubí atp.). Odečtením ztrát získáme spád pro turbínu užitný.

Průtok

Průtok lze definovat jako průtočné množství vody v daném profilu. Přesné průtoky lze zjistit u Českého hydrometeorologického ústavu nebo příslušné Správy toku za úplatu.

Aby mohlo dojít k efektivnímu využití vodní energie určitého úseku vodního toku, je vhodné uměle soustředit spád a průtok v lokalitě vodní elektrárny.

Spád lze uměle soustředit:

- výstavbou přehrady
- výstavbou jezů
- výstavbou přiváděče (beztlakového, tlakového nebo jejich kombinací)

Průtok lze uměle soustředit:

- zachycením (soustředěním) vody ve vlastním povodí řeky
- přivedením vody z jiného povodí
- umělým přečerpáváním vody

8.1.2 Vedlejší hodnotící ukazatele

Kromě posouzení průtoku a spádu jsou k ohodnocení konkrétní lokality důležité i následující parametry:

- možnost umístění vhodné technologie
- vhodné geologické podmínky a dostupnost lokality pro těžké mechanismy, případně vhodnost pro vybudování potřebné zpevněné komunikace
- vzdálenost od elektrorozvodné sítě s dostatečnou kapacitou
- minimalizace možného rušení obyvatel hlukem, jinak je nutno provést odhlučnění
- míra zásahu do okolní přírody a vhodné začlenění do reliéfu lokality, předepsáno stavebním úřadem či urbanistou, zátěž při výstavbě elektrárny, zátěž budováním přípojky, ohrožení vodních živočichů
- dodržování odběru sjednaného množství vody – využitím spolehlivého automatického řízení v souvislosti s hladinovou regulací se vyloučí nevhodný vliv obsluhy MVE
- způsob odstraňování naplavenin vytažených z vody – je nutno zajistit odvoz a likvidaci zachycených naplavenin dle zákona o odpadech
- majetkoprávní vztahy k pozemku – vlastnictví či dlouhodobý pronájem pozemku, postoj místních úřadů

8.1.3 Zásady pro dimenzování

Z daného průtoku a využitelného spádu lze s poměrně velkou přesností spočítat množství vyrobené energie a navrhnout vhodný typ a velikost vodní turbíny tak, aby bylo dosaženo co největší účinnosti a došlo k využití co největšího rozsahu průtoků. V případě potřeby lze použít dvě i více turbín.

8.2 Projektová příprava

Projektová příprava má v podstatě dvě části a to vypracování projektové dokumentace pro:

- územní řízení (k získání rozhodnutí o umístění stavby)
- stavební řízení (k získání stavebního povolení a povolení nakládání s vodami)

Pro úspěšné zvládnutí celé fáze projektové přípravy je potřeba mít k dispozici soubor podkladů:

- topografické podklady
- hydrologické podklady včetně splaveninového a zimního režimu, povodně, charakteristiky málovodných období apod.
- geologické podklady, geotechnické vlastnosti hornin, hydrogeologie
- údaje o kvalitě vody v toku
- požadavky a podmínky státní správy, dotčených orgánů a organizací
- požadavky ochrany přírody

- další údaje (např. o místních poměrech)

Podmínky, které se týkají výstavby a následného provozu MVE, upravuje příslušná legislativa.

9. Technická zajištěnost v ČR

Tato kapitola je zpracována z [2,4].

Nabídka tuzemských výrobců technologií pro MVE převyšuje poptávku. To vytváří potřebnou konkurenci a nutí výrobce poskytovat tyto technologie na velmi dobré technické úrovni. Ta je srovnatelná s technologiemi nejlepších zahraničních výrobců. Také servisní a opravárenská činnost poskytovaná provozovatelům MVE je na velmi vysoké úrovni. V ČR je řada kvalitních dodavatelských firem, které jsou schopné zabezpečit dodávku vhodné turbíny i ostatních částí. Někteří dodavatelé jsou dokonce schopni zajistit takzvaně „na klíč“ i dodávku celé MVE.

Čeští výrobci nabízejí prakticky všechny typy turbín všech modifikací a velikostí. Díky tomu máme v ČR velmi dobré technologické zabezpečení.

10. Využití nízkých spádů

Tato kapitola je zpracována z [7].

Projektant, který se snaží využít vodní energii v lokalitě s nízkým spádem, mívá často potíže s výběrem vhodné turbíny. V posledním období se objevují technologie, které tento problém řeší. Jsou to například šnekové turbíny a vírové MVE.

10.1 Šnekové turbíny

Šnekové turbíny se využívají hlavně v lokalitách s malým spádem (1–7,5 m) a s výrazně rozkolísanými průtoky. Ve srovnání s tradičními turbínami mají řadu výhod. Mají jednoduchou konstrukci, nižší pořizovací náklady, nevyžadují jemné česle, mohou být použity také v tzv. nečisté vodě a jsou šetrné k vodním živočichům. Jednou z největších výhod šnekových turbín však je, že dosahují vysoké účinnosti i při částečném zatížení. Nevýhodou je, že nezakrytá šneková turbína může v zimě namrzat. Na dolní ložisko je třeba používat vhodná maziva, aby nezatěžovala životní prostředí.

10.2 Vírové MVE

Vírové MVE jsou vhodné k využití lokalit s nízkým spádem (0,5–2,5 m) a průtokem (od 0,05 do 20 m³/s). Princip je následující. Voda je přivedena do kruhové nádrže, ze které otvorem uprostřed dna odtéká. Tím vzniká vír, který roztáčí oběžné kolo turbíny. Celé řešení je velmi jednoduché. To se projeví v nízkých provozních nákladech, bezporuchovosti provozu a také v dlouhé životnosti celé elektrárny.

11. Provoz MVE a legislativa

Tato kapitola je zpracována z [4,6].

V současné době musí mít každý provozovatel MVE oprávnění k provozování elektrárny. Zároveň musí mít i odpovídající kvalifikaci pro její obsluhu. Pokud nemá vzdělání v oboru, musí absolvovat rekvalifikační kurz pro MVE do 1 MW.

Pro provoz MVE je nutno získat licenci pro podnikání v energetice. Živnostenský list se nevydává.

Během provozu MVE je nutno dodržovat podmínky uvedené v povolení k nakládání s vodami, které stanovil vodoprávní úřad.

Současný vodní zákon a další předpisy vyžadují, aby provozovatel MVE zachovával v toku tzv. minimální zůstatkový průtok. To znamená, že se nikdy nesmí veškerá voda z koryta odvést pro turbínu, ale je nutné nechat její část protékat původním tokem, například přes jez. Vodoprávní úřad stanovuje průtok individuálně pro každou MVE zvlášť.

Další povinností provozovatele MVE je odstraňování naplavenin, které se zachytily na česlích. Dřevo, listí i ostatní předměty a odpadky se nesmí pouštět zpět do toku. Je třeba zajistit jejich odvoz a likvidaci.

Dále je nutné zajistit, aby do turbíny nemohly vniknout ryby. K tomu slouží jemné česle. Mezera mezi pruty česlí může být široká max. 2 cm. Je možné také použít elektronický odpuzovač na vtoku do náhonu. Při stavbě nebo rekonstrukci MVE se v současné době obvykle vyžaduje také vybudování tzv. rybích přechodů. Je důležité, aby MVE nevytvořila na toku překážku, kterou by vodní živočichové nedokázali překonat. Vybudování rybího přechodu se však projeví ve zvýšených nákladech na stavbu i údržbu MVE.

12. Konkrétní příklad

Návrh MVE jsem řešil pro oblast Ostrava-Vítkovice, pro řeku Ostravici. Počítal jsem s tím, že v období maximálních průtoků je elektrárna 2 dny mimo provoz. Bral jsem v úvahu, že provozní roční využití MVE je 95% v důsledku nutných odstávek na údržbu atp. Návrh MVE jsem provedl pro dvě turbíny. Zvažoval jsem dvě možné varianty. Použít dvě stejně velké turbíny nebo dvě turbíny různých velikostí. Přiklonil jsem se k variantě dvou stejně velkých turbín. Lze pro ně použít tytéž náhradní díly a v případě, že dojde k poškození obou turbín z různých důvodů, je možné z jejich nepoškozených částí složit alespoň jednu funkční.

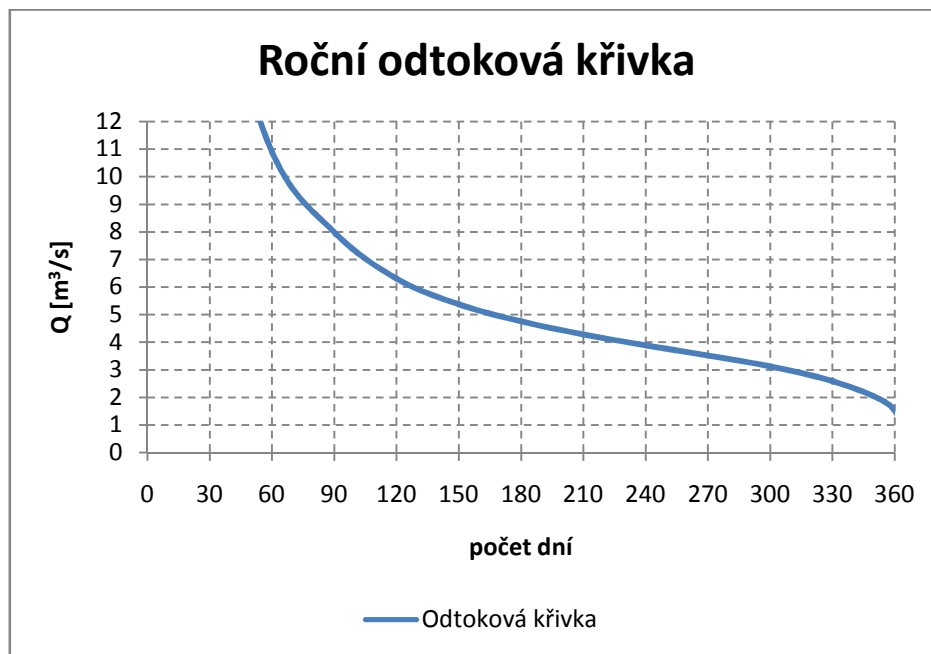
Hodnotící ukazatele dané lokality jsou následující:

- spád $H = 3\text{ m}$,
- asanační průtok $Q_{\text{asan}} = 0,50\text{ m}^3/\text{s}$,
- průtok Q , který je dán odtokovou křivkou uvedenou v tabulce 12.1

τ [dny]	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	355	364
Q [m^3/s]	18,20	10,90	7,98	6,30	5,37	4,75	4,28	3,88	3,51	3,12	2,59	1,84	1,08

Tab. 12.1: Odtoková křivka

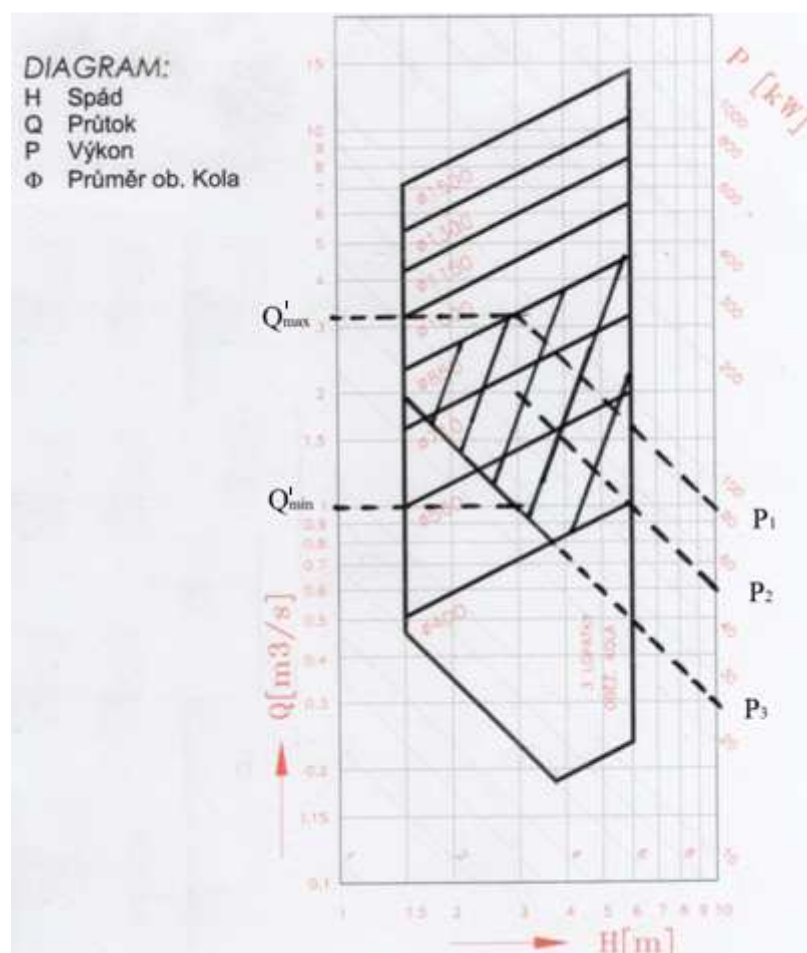
Pro lepší názornost jsem odtokovou křivku vykreslil do grafu, který je znázorněn na obrázku 12.1.



Obr. 12.1: Odtoková křivka

12.1 Návrh turbíny

Podle hodnotících ukazatelů jsem zvolil dvě turbíny přímoproudé horizontální kolenové (S-KAPLAN). Na obrázku 12.2 je diagram parametrů zmíněných turbín, ze kterého jsem určil a zakreslil minimální, maximální průtok turbín a výkony pro průtok, které jsem později využil k výpočtu a stanovení účinnosti.



Obr. 12.2: Diagram S-Kaplan [12]

V diagramu je použita logaritmická stupnice. Proto jsem k určení průtoků Q'_{min} , Q'_{max} a výkonu P_1 , P_2 a P_3 využil pravidla pro logaritmování. Nejdříve jsem určil základ logaritmu, se kterým se pracuje v dalších rovnicích.

Určení základu logaritmu

Základ logaritmu x jsem získal úpravou následující rovnice (1).

$$v = \log_x a - \log_x b \quad [\text{cm}] \quad (1)$$

Kde v ... vzdálenost mezi průtoky v grafu,

a ... hodnota průtoky na konci vzdálenosti v ,

b ... hodnota průtoky na začátku vzdálenosti v ,

x ... základ logaritmu.

Do rovnice 1 jsem dosadil hodnoty z grafu a vypočetl základ logaritmu.

$$11 = \log_x 15 - \log_x 0,1$$

$$11 = \frac{\log 15}{\log x} - \frac{\log 0,1}{\log x}$$

$$\log x = \frac{\log 15 - \log 0,1}{11}$$

$$x = 10^{\frac{\log 15 - \log 0,1}{11}} = 1,58$$

Výpočet průtoků

Výpočet vychází z výše uvedené rovnice (1).

$$\log a = v \log x + \log b$$

$$a = 10^{v \log x + \log b} [m^3/s] \quad (2)$$

- maximální průtok přes jednu turbínu

$$Q'_{max} = a = 10^{7,64 \log 1,58 + \log 0,1} = 3,30 [m^3/s]$$

- minimální průtok přes jednu turbínu

$$Q'_{min} = a = 10^{5,04 \log 1,58 + \log 0,1} = 1,00 [m^3/s]$$

- maximální průtok

Nastane, když jsou v chodu obě turbíny. K maximálnímu průtoku obou turbín přičteme asanační průtok.

$$Q_{max} = 2 \cdot Q'_{max} + Q_{asan} = 2 \cdot 3,30 + 0,50 = 7,10 [m^3/s]$$

- minimální průtok

Nastane, když je v chodu jedna turbína. K minimálnímu průtoku přičteme asanační průtok.

$$Q_{min} = Q'_{min} + Q_{asan} = 1,00 + 0,50 = 1,50 [m^3/s]$$

12.2 Stanovení průměrného teoreticky využitelného průtoku a průměrného prakticky využitelného průtoku

Teoreticky využitelný průtok pro jednotlivé časové intervaly jsem spočetl tak, že jsem od průtoků Q odečetl asanační průtok Q_{asan} . Prakticky využitelný průtok jsem určil tak, že jsem sečetl teoretický průtok počítaného časového intervalu s předchozím intervalem a vydělil dvěma. Z tabulky 12.2 je patrné, že mezi 150 a 120 dny došlo k ustálení prakticky využitelného průtoku na hodnotu maximálního prakticky využitelného průtoku.

τ	$\Delta\tau$	Q	Q_{asan}	$Q_{teor-vyu}$	$Q_{prak-vyu}$
[dny]	[dny]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]
30	28	18,20	0,5	17,70	6,60
60	30	10,90	0,5	10,40	6,60
90	30	7,98	0,5	7,48	6,60
120	30	6,30	0,5	5,80	6,60
150	30	5,37	0,5	4,87	5,34
180	30	4,75	0,5	4,25	4,56
210	30	4,28	0,5	3,78	4,02
240	30	3,88	0,5	3,38	3,58
270	30	3,51	0,5	3,01	3,20
300	30	3,12	0,5	2,62	2,82
330	30	2,59	0,5	2,09	2,36
355	25	1,84	0,5	1,34	1,72
364	9	1,08	0,5	0,58	0,96

Tab. 12.2: Průtoky

Označení veličin v tabulce odpovídá:

- τ počet dní v roce, po které bude průtok alespoň Q ,
 $\Delta\tau$ četnost dní v roce pro daný interval hodnot průtoků,
 Q průtok dle roční odtokové křivky,
 Q_{asan} asanační průtok,
 $Q_{teor-vyu}$ teoreticky využitelný průtok pro MVE pro spodní hranici intervalu daného odtokovou křivkou,
 $Q_{prak-vyu}$ průměrný prakticky využitelný průtok pro MVE v období daného $\Delta\tau$.

Příklad výpočtu pro poslední řádek tabulky

$$Q_{teor-vyu} = Q - Q_{asan} \text{ [m}^3\text{/s]} \quad (3)$$

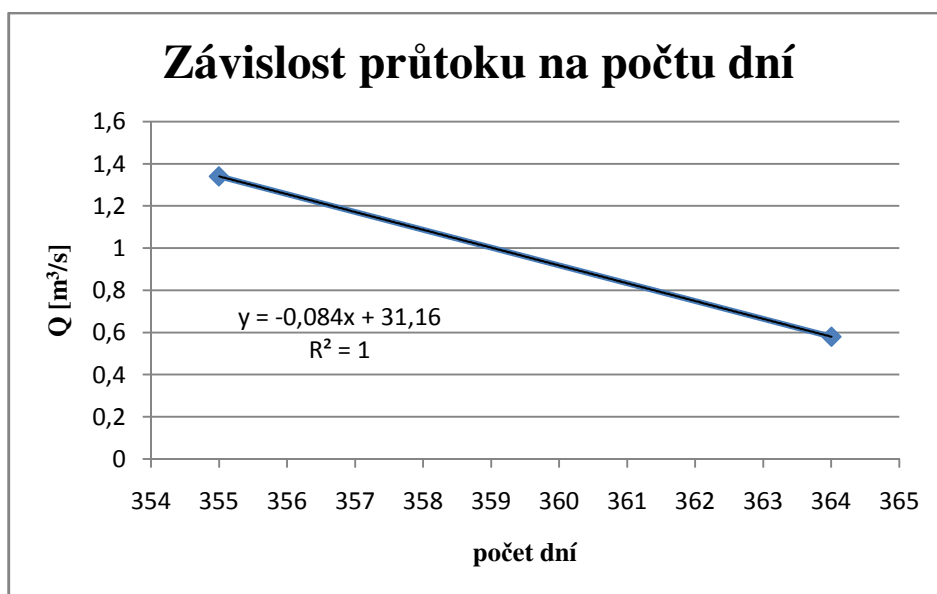
$$Q_{teor-vyu} = 1,08 - 0,5 = 0,58 \text{ [m}^3\text{/s]}$$

$$Q_{prak-vyu} = \frac{Q_{teor-vyu(364)} + Q_{teor-vyu(355)}}{2} \text{ [m}^3\text{/s]} \quad (4)$$

$$Q_{prak-vyu} = \frac{1,34 + 0,58}{2} = 0,96 \text{ [m}^3\text{/s]}$$

V posledním řádku tabulky 12.2 hodnota $Q_{prak-vyu}$ klesla na 0,96 m³/s. To znamená, že během devíti dnů (viz. Δt) došlo k poklesu průtoku vody pod hranici, kdy může být MVE v provozu. Abych zjistil, kolik z těchto devíti dnů je MVE ještě v provozu, rozšířil jsem poslední řádek tabulky. Počty dnů a průtoky posledního a předposledního řádku tabulky jsem bral jako krajní hodnoty. Vytvořil jsem pro ně graf, který je na obrázku 12.3.

Tímto grafem jsem proložil spojnici trendů při nejvyšší spolehlivosti a získal rovnici regrese. Tuto rovnici jsem použil pro výpočet průtoků.



Obr. 12.3: Závislost průtoku na počtu dní

Z obrázku 12.3 je patrné, že 359. den leží na hranici provozuschopnosti MVE. Abych ověřil, zda tento den bude mít MVE k provozu vody dostatek nebo nedostatek, provedl jsem výpočet podle následující rovnice (5).

$$y = -0,084x + 31,16 \text{ [m}^3/\text{s}] \quad (5)$$

$$y = -0,084 \cdot 359 + 31,16 = 1,00 \text{ [m}^3/\text{s}]$$

Kde y ... průtok,
 x ... den.

Výpočtem jsem zjistil, že 359. den bude mít MVE k provozu vody dostatek. Poslední řádek tedy rozdělím na 4 dny, kdy je ještě dostatek vody a 5 dní kdy již voda nestačí.

τ	$\Delta\tau$	Q	Q_{asan}	$Q_{\text{teor-vyu}}$	$Q_{\text{prak-vyu}}$
[dny]	[dny]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]
359	4	1,50	0,5	1,00	1,17
364	5	1,08	0,5	0,58	0,79

12.3 Stanovení množství vyrobené elektrické energie v jednotlivých časových intervalech

K určení množství vyrobené energie jsem nejdříve musel vypočítat výkon a účinnost v jednotlivých časových intervalech. K tomu účelu jsem vypočetl výkony ve zvolených průtocích vyznačené na obrázku 12.2.

Výpočet výkonů ve zvolených průtocích

Postupoval jsem obdobně, jako při počítání průtoků v kapitole 12.1. Pomocí rovnice (1) jsem určil pro výkony základ logaritmu $x=1,9$.

Pro výpočet výkonů ve zvolených průtocích jsem použil rovnici (2).

- výkon pro průtok $3,30 \text{ m}^3/\text{s}$

$$a = 10^{4,1 \log 1,9 + \log 6} = 83 \text{ [kW]}$$

- výkon pro průtok $1,00 \text{ m}^3/\text{s}$

$$a = 10^{2,3 \log 1,9 + \log 6} = 26 \text{ [kW]}$$

- výkon pro průtok $2,00 \text{ m}^3/\text{s}$

$$a = 10^{3,4 \log 1,9 + \log 6} = 53 \text{ [kW]}$$

K jednotlivým výkonům jsem vypočetl účinnost η [3,7].

$$\eta = \frac{P}{\rho \cdot g \cdot H \cdot Q_{\text{prak-vyu}}} \cdot 100 \text{ [%]} \quad (6)$$

Kde H ... spád,

P ... výkon,

ρ ... hustota,

g ... gravitační zrychlení,

η ... účinnost v daném intervalu,

$Q_{\text{prak-vyu}}$... průměrný prakticky využitelný průtok pro MVE v období daného $\Delta\tau$.

- účinnost pro výkon 83 kW

$$\eta = \frac{83\,000}{1000 \cdot 9,81 \cdot 3 \cdot 3,30} \cdot 100 = 85 \text{ [%]}$$

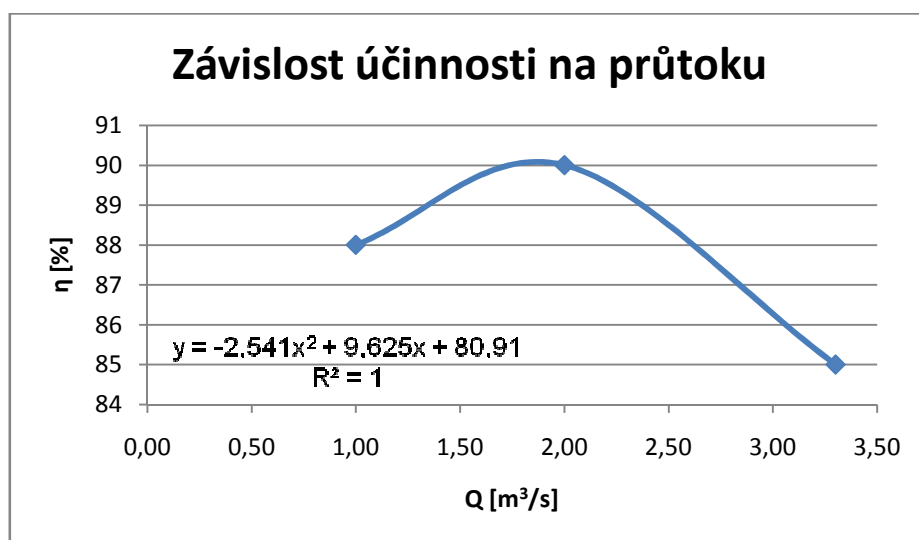
- účinnost pro výkon 26 kW

$$\eta = \frac{26\,000}{1000 \cdot 9,81 \cdot 3 \cdot 1,00} \cdot 100 = 88 \text{ [%]}$$

- účinnost pro výkon 53 kW

$$\eta = \frac{53\,000}{1000 \cdot 9,81 \cdot 3 \cdot 2,00} \cdot 100 = 90 \text{ [%]}$$

Pro vypočtené hodnoty účinnosti jsem vytvořil graf, který je na obrázku 12.4. Tímto grafem jsem proložil spojnicí trendů. Vybral jsem případ, kdy byla hodnota spolehlivosti nejvyšší. Zobrazil jsem rovnici regrese, kterou jsem využil pro výpočet účinnosti jednotlivých intervalů uvedených v tabulce 12.3.



Obr. 12.4: Závislost účinnosti na průtoku

τ [dny]	$\Delta\tau$ [dny]	Q [m^3/s]	$Q_{\text{prak-vyu}}$ [m^3/s]	P [kW]	$A_{\text{el-100\%}}$ [kWh]	A_{el} [kWh]	η [%]	t_{vp} ks
30	28	18,20	6,60	166	110880	105336	85	2
60	30	10,90	6,60	166	118800	112860	85	2
90	30	7,98	6,60	166	118800	112860	85	2
120	30	6,30	6,60	166	118800	112860	85	2
150	30	5,37	5,34	139	100080	95076	89	2
180	30	4,75	4,56	120	86400	82080	90	2
210	30	4,28	4,02	106	76320	72504	90	2
240	30	3,88	3,58	95	68400	64980	90	2
270	30	3,51	3,20	84	60480	57456	89	2
300	30	3,12	2,82	74	53280	50616	89	2
330	30	2,59	2,36	61	43920	41724	88	2
355	25	1,84	1,72	45	27000	25650	90	1
359	4	1,50	1,17	30	2880	2736	88	1
364	5	1,08	0,79	0	0	0	0	0

Tab. 12.3: Množství vyrobené energie

Označení veličin v tabulce odpovídá:

- τ počet dní v roce, po které bude průtok alespoň Q ,
- $\Delta\tau$ četnost dní v roce pro daný interval hodnot průtoků,
- $Q_{\text{prak-vyu}}$ průměrný prakticky využitelný průtok pro MVE v období daného $\Delta\tau$,
- P výkon MVE,
- $A_{\text{el-100\%}}$ teoreticky možné množství vyrobené el. energie za $\Delta\tau$ dní bez uvažování prostojů (100% využití času),
- A_{el} předpokládané reálné množství vyrobené el. energie za $\Delta\tau$ dní s uvažováním prostojů,
- η účinnost,
- t_{vp} počet turbín v provozu

Příklad výpočtu pro první řádek tabulky:

Účinnost

Pro výpočet účinnosti jsem použil získanou rovnici regrese z obrázku 12.4, do které jsem za x dosazoval průtok přes jednu turbínu.

$$\eta = -2,541x^2 + 9,625x + 80,91 \text{ [%]} \quad (7)$$

$$\eta = -2,541 \cdot \left(\frac{6,60}{2}\right)^2 + 9,625 \cdot \frac{6,60}{2} + 80,91 = 85 \text{ [%]}$$

Kde x ... průtok přes jednu turbínu.

Výkon [3,7]

$$P = \rho \cdot Q_{prak-vyu} \cdot g \cdot H \cdot \eta \text{ [kW]} \quad (8)$$

$$P = 1000 \cdot 6,60 \cdot 9,81 \cdot 3 \cdot 0,85 = 165 \text{ [kW]}$$

Kde H ... spád,

ρ ... hustota,

g ... gravitační zrychlení,

η ... účinnost v daném intervalu,

$Q_{prak-vyu}$... průměrný prakticky využitelný průtok pro MVE v období daného $\Delta\tau$.

Množství vyrobené el. energie

Množství vyrobené el. energie jsem určil ze součinu výkonu, četnosti dní a 24 hodin [7].

$$A_{el-100\%} = P \cdot \Delta\tau \cdot 24 \text{ [kWh]} \quad (9)$$

$$A_{el-100\%} = 165 \cdot 28 \cdot 24 = 110880 \text{ [kWh]}$$

Kde P ... výkon,

$\Delta\tau$... četnost dní v roce pro daný interval hodnot průtoků.

Reálné množství vyrobené el. energie

$$A_{el} = A_{el-100\%} \cdot m \text{ [kWh]} \quad (10)$$

$$A_{el} = 110880 \cdot 0,95 = 105336 \text{ [kWh]}$$

Kde $A_{el-100\%}$... množství vyrobené el. energie,

m ... součinitel využití MVE ($m = 95\%$).

Počet turbín v provozu

Počet turbín, které jsou v provozu, jsem určil pomocí průtoků. Z obrázku 12.2 a podle dřívějších výpočtů jsem věděl, že minimální průtok pro jednu turbínu je $1 \text{ m}^3/\text{s}$. Z toho vyplývá, že dokud prakticky využitelný průtok nedosáhne hodnoty $1 \text{ m}^3/\text{s}$, nebude v provozu žádná turbína. Jakmile hodnota prakticky využitelného průtoky dosáhne hranice $1 \text{ m}^3/\text{s}$, spustí se první turbína. Druhá turbína se spustí při prakticky využitelném průtoky $2 \text{ m}^3/\text{s}$.

12.4 Stanovení množství vyrobené elektrické energie za rok

Množství vyrobené elektrické energie za rok jsem určil jako sumu reálného množství vyrobené el. energie v jednotlivých časových intervalech z tab. 12.3. V dalších výpočtech však musím zohlednit, že se část této energie nepromítne do zisku, protože bude zužitkována na vlastní spotřebu MVE a na pokrytí nákladů na údržbu. Tato část - provozní spotřeba odpovídá 1% vyrobené energie.

Množství vyrobené el. energie za rok

$$A_{el-rok} = \sum A_{el} \text{ [kWh]} \quad (11)$$

$$A_{el-rok} = 936738 \text{ [kWh]}$$

Provozní spotřeba

$$A_{vl} = \frac{A_{el-rok}}{100} \text{ [kWh]} \quad (12)$$

$$A_{vl} = \frac{936738}{100} = 9367 \text{ [kWh]}$$

12.5 Odhad investičních nákladů

Abych mohl provést odhad investičních nákladů bez provedení detailnějšího projektu, vycházel jsem z měrných investičních nákladů uváděných ve vyhlášce č.347/2012sb. v závislosti na součiniteli instalovaného výkonu.

Stanovení součinitele instalovaného výkonu [3]

$$K_{CR} = \frac{P_{CR}}{P_I} = \frac{A_{el-rok}}{24 \cdot 365 \cdot P_I} [-] \quad (13)$$

$$K_{CR} = \frac{936738}{24 \cdot 365 \cdot 165} = 0,65$$

Kde P_{CR} ... průměrný celoroční výkon,

P_I ... instalovaný výkon,

A_{el-rok} ... množství vyrobené energie za rok.

Roční využití instalovaného výkonu

$$RVIV = K_{CR} \cdot 8760 \text{ [kWh/kWe]} \quad (14)$$

$$RVIV = 0,65 \cdot 8760 = 5694 \text{ [kWh/kWe]}$$

Kde K_{CR} ... součinitel instalovaného výkonu.

V energetické legislativě ČR jsem ve vyhlášce č.347/2012sb. vyhledal, že ročnímu využití instalovaného výkonu 5694 kWh/kWe odpovídají měrné investiční náklady ve výši 150 000 Kč/kWe.

Celkové investiční náklady

$$IN = MIN \cdot P_I \text{ [Kč]} \quad (15)$$

$$IN = 150000 \cdot 165 = 24750000 \text{ [Kč]}$$

Kde IN ... měrné investiční náklady,

P_I ... instalovaný výkon.

12.6 Stanovení doby návratnosti

Tato kapitola je zpracována z [9].

Abych mohl určit návratnost, musel jsem vyčíslit příjmy z prodané elektřiny. Hodnotu výkupní ceny jsem vyčetl z tabulky cenového rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č. 4/2013. Tabulka je znázorněna na obrázku 12.5.

ř./sl.	Druh podporovaného zdroje (výroby)	Datum uvedení výroby do provozu (nebo splnění podmínky bodu 1.6.4.)		Jednotarifní pásmo provozování		Dvoutarifní pásmo provozování	
		od (včetně)	do (včetně)	Výkupní ceny [Kč/MWh]	Zelené bonusy [Kč/MWh]	Zelené bonusy [Kč/MWh]	
						VT	NT
	a	b	c	l	m	n	o
100	Malá vodní elektrárna	-	31.12.2004	1 988	1 168	1 500	952
101		1.1.2005	31.12.2013	2 549	1 729	2 270	1 408
102		1.1.2014	31.12.2014	2 499	1 679	-	-
110	Rekonstruovaná malá vodní elektrárna	-	31.12.2013	2 549	1 729	2 270	1 408
111		1.1.2014	31.12.2014	2 499	1 679	-	-
120	Malá vodní elektrárna v nových lokalitách	1.1.2006	31.12.2007	2 831	2 011	2 600	1 666
121		1.1.2008	31.12.2009	2 997	2 177	2 600	1 915
122		1.1.2010	31.12.2010	3 257	2 437	2 600	2 305
123		1.1.2011	31.12.2011	3 184	2 364	2 600	2 197
124		1.1.2012	31.12.2012	3 319	2 499	2 600	2 399
125		1.1.2013	31.12.2013	3 295	2 475	2 600	2 362
126		1.1.2014	31.12.2014	3 230	2 410	-	-

Obr. 12.5: Výkupní ceny pro malé vodní elektrárny [11]

Příjmy

$$CF = (A_{el-rok} - A_{vl}) \cdot vc \text{ [Kč]} \quad (16)$$

$$CF = (936738 - 9367) \cdot 3,23 = 2995408 \text{ [Kč]}$$

Kde A_{el-rok} ... množství vyrobené el. energie za rok,

A_{vl} ... provozní spotřeba,

vc ... výkupní cena.

Prostá doba návratnosti

Jedná se o nejjednodušší vyjádření a stanovení doby návratnosti. Prostou dobu návratnosti jsem určil z podílu nákladů na investici a ročních příjmů z výkupu.

$$TN_p = \frac{IN}{CF} \text{ [rok]} \quad (17)$$

$$TN_p = \frac{24750000}{2995408} = 8,3 \text{ [rok]}$$

Kde IN ... náklady na investici,

CF ... roční příjem.

Diskontovaná doba návratnosti

Na rozdíl od prosté doby návratnosti diskontovaná doba návratnosti nepočítá pouze s prostým peněžním tokem, ale diskontovaným. Diskont je tzv. alternativní náklad kapitálu, neboli cena ušlé příležitosti. Jednoduše řečeno, je to výnos v procentech, který byste obdrželi, pokud byste zamyšlenou částku investovali do jiného stejně rizikového projektu, nebo např. jen uložili na účet.

V mém případě byl diskont 3%. Z tabulky 12.4 lze vyčíst, že diskontovaná doba návratnosti je 9,6 let.

Příklad výpočtu prvního řádku:

DCF (diskontovaný roční peněžní tok)

$$DCF = \frac{CF}{(1+i)^n} \text{ [Kč]} \quad (18)$$

$$DCF = \frac{2995408}{(1 + 0,03)^1} = 2908163 \text{ [Kč]}$$

Kde i ... diskont,

n ... rok, který se počítá

CF ... roční příjem.

Příjmy

Příjmy v daném roce představují sumu diskontovaných ročních peněžních toků za daný rok a všechny předešlé.

$$Příjmy = \sum_{j=1}^n DCF \text{ [Kč]} \quad (19)$$

$$Příjmy = \sum_{j=1}^1 DCF = 2908163 \text{ [Kč]}$$

Náklady

Celkové investiční náklady jsem vypočetl v kapitole 12.5. Zůstávají neměnné, proto se v tomto sloupci tabulky vyskytují stále stejné hodnoty.

Výnos

$$Výnos = Příjmy - Náklady \text{ [Kč]} \quad (20)$$

$$Výnos = 2908163 - 24750000 = -21841837 \text{ [Kč]}$$

Návratnost

Z tabulky 12.4 lze vyčíst, že návratnost bude mezi 9 a 10 rokem, protože právě v té době se výnos dostane do kladných čísel. Pro přesnější určení jsem potřeboval zjistit, kdy výnos dosáhne nulové hodnoty. K tomu jsem využil zákonitosti pro směrnicový tvar přímky. Použil jsem následující rovnice:

$$y = k \cdot x + q \quad (21)$$

$$k = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \quad (22)$$

$$q = y_2 - k \cdot x_2 \quad (23)$$

Kde x ... x -ová souřadnice bodu,
 y ... y -ová souřadnice bodu,
 k ... směrnice přímky
 q ... proměnná.

Za x jsem dosadil rok a za y jsem dosadil výnos. Hledal jsem výnos s hodnotou nula, proto má směrnicová rovnice přímky tvar:

$$0 = k \cdot x + q$$

Další úpravou a dosazením rovnic (22) a (23) jsem získal vzorec pro výpočet návratnosti.

$$\text{Návratnost} = - \frac{\frac{V_{\text{ynos}_n} - V_{\text{ynos}_{n-1}}}{\text{rok}_n - \text{rok}_{n-1}} \cdot \text{rok}_n}{\frac{V_{\text{ynos}_n} - V_{\text{ynos}_{n-1}}}{\text{rok}_n - \text{rok}_{n-1}}} [\text{rok}] \quad (24)$$

Návratnost bude mezi 9 a 10 rokem, proto jsem volil za n=10.

$$\text{Návratnost} = - \frac{801438 - \frac{801438 - (-1427427)}{10 - 9} \cdot 10}{\frac{801438 - (-1427427)}{10 - 9}} = 9,6 [\text{rok}]$$

rok	DCF	Příjmy	Náklady	Výnos		Návratnost
1	2908163	2908163	24750000	-21841837		
2	2823459	5731622	24750000	-19018378		X
3	2741223	8472845	24750000	-16277155		X
4	2661381	11134226	24750000	-13615774		X
5	2583865	13718092	24750000	-11031908		X
6	2508607	16226699	24750000	-8523301		X
7	2435541	18662239	24750000	-6087761		X
8	2364603	21026842	24750000	-3723158		X
9	2295731	23322573	24750000	-1427427		X
10	2228865	25551438	24750000	801438		9,6
11	2163946	27715384	24750000	2965384		X
12	2100919	29816303	24750000	5066303		X
13	2039727	31856030	24750000	7106030		X
14	1980318	33836348	24750000	9086348		X
15	1922638	35758986	24750000	11008986		X
16	1866639	37625625	24750000	12875625		X
17	1812271	39437897	24750000	14687897		X
18	1759487	41197383	24750000	16447383		X
19	1708239	42905622	24750000	18155622		X
20	1658485	44564107	24750000	19814107		X
21	1610179	46174287	24750000	21424287		X
22	1563281	47737568	24750000	22987568		X
23	1517749	49255316	24750000	24505316		X
24	1473542	50728858	24750000	25978858		X
25	1430624	52159482	24750000	27409482		X
26	1388955	53548437	24750000	28798437		X
27	1348500	54896937	24750000	30146937		X
28	1309223	56206160	24750000	31456160		X
29	1271090	57477250	24750000	32727250		X
30	1234068	58711319	24750000	33961319	NPV	X

Tab. 12.4: Diskontovaná doba návratnosti

Výnosové procento

Výnosové procento je trvalý roční výnos investice. Jednoduše se jedná o diskont, kdy NPV (čistá současná hodnota) investice je rovno nule. Čím je výnosové procento vyšší, tím spíše lze projekt doporučit k realizaci. Výnosové procento jsem získal pomocí analýzy hypotéz. Tabulku jsem v Excelu upravil tak, aby se poslední buňka výnosu blížila nule. Využil jsem funkci hledání řešení, kde jsem nastavil jako výchozí buňku poslední výnosovou, cílovou hodnotu jsem nastavil na 0 a měněná buňka byla buňka diskontu. Následně došlo k úpravě celé tabulky 12.4 na tabulku 12.5, kdy v posledním řádku tabulky se výnos blíží nule. Hodnota diskontu se změnila z 3% na 11,66%. Výnosové procento tedy je 11,66%, což je více než uvažovaný diskont a projekt tedy lze doporučit k realizaci.

rok	DCF	Příjmy	Náklady	Výnos	
1	2682612	2682612	24750000	-22067388	
2	2402479	5085091	24750000	-19664909	
3	2151600	7236691	24750000	-17513309	
4	1926919	9163610	24750000	-15586390	
5	1725700	10889310	24750000	-13860690	
6	1545493	12434803	24750000	-12315197	
7	1384105	13818908	24750000	-10931092	
8	1239569	15058477	24750000	-9691523	
9	1110127	16168604	24750000	-8581396	
10	994202	17162806	24750000	-7587194	
11	890382	18053187	24750000	-6696813	
12	797404	18850591	24750000	-5899409	
13	714135	19564726	24750000	-5185274	
14	639561	20204287	24750000	-4545713	
15	572775	20777061	24750000	-3972939	
16	512962	21290024	24750000	-3459976	
17	459396	21749420	24750000	-3000580	
18	411424	22160844	24750000	-2589156	
19	368461	22529304	24750000	-2220696	
20	329984	22859288	24750000	-1890712	
21	295525	23154814	24750000	-1595186	
22	264665	23419479	24750000	-1330521	
23	237027	23656506	24750000	-1093494	
24	212276	23868782	24750000	-881218	
25	190109	24058891	24750000	-691109	
26	170257	24229148	24750000	-520852	
27	152478	24381625	24750000	-368375	
28	136555	24518180	24750000	-231820	
29	122295	24640475	24750000	-109525	
30	109525	24750000	24750000	0	NPV

Tab. 12.5: Upravená tabulka návratnosti

12.7 Ekologie

Stanovil jsem množství emisí, které se ročně nevyprodukuje, pokud se k výrobě elektrické energie použije daná MVE. V tabulce 12.6 jsou zobrazeny emisní faktory [10] a ušetřené emise.

Emise [kg/GJ]					
TL	SO ₂	NO _x	CO	ORG. Látky	CO ₂
0,02591	0,489376	0,415698	0,0393	0,03086	325
Ušetřené emise [kg]					
87	1650	1402	133	104	109590

Tab. 12.6: Emise

Nejdříve jsem převedl vyprodukovanou energii na GJ, které jsem následně vynásobil emisními faktory. Tímto postupem jsem získal hodnoty ušetřených emisí.

Převod:

$$1[kWh] = 3,6[MJ]$$

$$A_{el-rok} = 936738[kWh] \cdot 3,6[MJ] = 3372257[MJ] = 3372[GJ]$$

Kde A_{el-rok} ... množství vyrobené el. energie za rok.

Příklad výpočtu nevyprodukovaných TL (tuhých látek):

$$TL_{u\check{s}} = A_{el-rok} \cdot TL \text{ [kg]} \quad (25)$$

$$TL_{u\check{s}} = 3372 \cdot 0,02591 = 87 \text{ [kg]}$$

Obdobně jsem vypočetl zbývající emise.

13. Závěr

V rešeršní části práce jsem popsal stav a perspektivu využívání vodní energie v ČR a možnosti využívání vodní energie na malých vodních tocích. Hydroenergetický potenciál patří k přírodnímu bohatství téměř každé země. V naší energetické bilanci není energie získávána z vodních toků rozhodující, přesto zůstává velmi cenným, i když dosud málo využitým, obnovitelným zdrojem energie. Z celkového instalovaného výkonu v naší republice tvoří vodní elektrárny přibližně 17% a na výrobě se podílejí asi 4%. V ČR nejsou vhodné přírodní podmínky pro budování velkých vodních energetických děl. Naše řeky nemají potřebný spád ani dostatečné množství vody a potenciál pro jejich stavbu už je u nás v podstatě vyčerpán. Díky geografické poloze (ČR leží na rozvodí tří moří a řeky zde pramení) jsou však u nás velmi příznivé podmínky pro využití vodní energie v malých vodních elektrárnách. V České republice je stále ještě dostatek lokalit pro výstavbu nebo obnovu MVE. Využít vhodný potenciál, který je k dispozici, je v podstatě možné třemi cestami:

- modernizací stávajících MVE
- výstavbou nebo obnovou MVE na místech zaniklých zařízení
- výstavbou MVE v nových lokalitách

Budoucnost MVE leží ve využívání nízkých (do 5 m) a extrémně nízkých (do 2 m) spádů. K tomuto účelu byly vyvinuty šnekové turbíny a vírové MVE.

V praktické části práce jsem se zaměřil na vybranou lokalitu. Na základě údajů o stávajícím hydropotenciálu této lokality jsem navrhl výkonové parametry a skladbu malé vodní elektrárny. Návrh MVE jsem řešil pro oblast Ostrava-Vítkovice, pro řeku Ostravici. Zvažoval jsem dvě možné varianty. Použít dvě stejně velké turbíny nebo dvě turbíny různých velikostí. Přiklonil jsem se k variantě dvou stejně velkých turbín. Lze pro ně použít tytéž náhradní díly a v případě, že dojde k poškození obou turbín z různých důvodů, je možné z jejich nepoškozených částí složit alespoň jednu funkční. V závěru práce jsem provedl energetické, ekonomické a environmentální zhodnocení navržené MVE. Investiční náklady na pořízení dané MVE by činily 24,75 mil. korun. Návratnost investice by byla 9,6 let. Ročně by se v dané MVE vyrobilo 936 738 kWh el. energie. Tím by se ročně ušetřily následující emise: 87 kg tuhých látek, 1650 kg SO₂, 1402 kg NO_x, 133 kg CO, 104 kg org. látek a 109590 kg CO₂. Roční příjem z prodané el. energie by činil necelé 3 mil. Kč. Doba životnosti projektu je 30 let. Hodnota diskontu pro obdobné projekty činí 3%. Vypočtené výnosové procento 11,66% je vyšší než uvažovaný diskont a projekt tedy lze doporučit k realizaci.

14. Seznam zdrojů

- [1] LIBRA, Martin; POULEK, Vladislav. *Zdroje a využití energie*. Praha: Česká zemědělská univerzita, 2007. ISBN 978-80-213-1647-8
- [2] BERANOVSKÝ, Jiří; TRUXA, Jan. *Alternativní energie pro váš dům*. Praha: ERA, 2003. ISBN 80-86517-59-4
- [3] KAMINSKÝ, Jaroslav; VRTEK, Mojmír. *Obnovitelné zdroje energie*. Ostrava: VŠB-TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA, 1998. ISBN 80-7078-445-8
- [4] CENEK, Miroslav. KOLEKTIV AUTORŮ. *Obnovitelné zdroje energie*. 2. upr. a dopl. vyd. Praha: FCC Public, 2001, 208 s. ISBN 80-901-9858-9.
- [5] KABEŠ, Karel. Malé vodní elektrárny jsou důležitým obnovitelným zdrojem energie. *Elektro: časopis pro elektrotechniku* [online]. 2008 [cit. 16. ledna 2014]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=37856>.
- [6] Malé vodní elektrárny. *Ministerstvo životního prostředí* [online]. 2012 [cit. 16. ledna 2014]. Dostupné z: <http://www.mzp.cz/cz/male_vodni_elektrarny>.
- [7] BENDA, Vítězslav. KOLEKTIV AUTORŮ. *Obnovitelné zdroje energie*. Praha: Profi Press s.r.o., 2012. ISBN 978-80-86726-48-9
- [8] JAMES & JAMES (SCIENCE PUBLISHERS). *The future for renewable energy 2: Prospect and directions*. UK: The Cromwell Press, 2002. ISBN 1 902916 31 X.
- [9] CHADIM, Tomáš. Výpočtová pomůcka ekonomická efektivnost investic (II). In *Tzb-info* [online]. 17.10.2005 [cit. 12. dubna 2014]. Dostupné na WWW: <<http://www.tzb-info.cz/2786-vypoctova-pomucka-ekonomicka-efektivnost-investic-ii>>
- [10] VRTEK, Mojmír. *Obnovitelné zdroje energie*. Ostrava, 2013. Přednáška. VŠB-TU Ostrava.
- [11] Česká republika. Cenové rozhodnutí Energetického regulačního úřadu. In: *Energetický regulační věstník*. 2013, č. 4/2013. Dostupné z: <http://www.eru.cz/-/cenove-rozhodnuti-c-4-2013>.
- [12] ČKD TURBO TECHNICS, Benešov, *Přímoproudé horizontální kolenové turbíny (S-Kaplan)*. Dostupné z WWW: <http://www.ckdturbotech.cz/>

15. Seznam tabulek

Tab. 12.1: Odtoková křivka	19
Tab. 12.2: Průtoky.....	22
Tab. 12.3: Množství vyrobené energie	25
Tab. 12.4: Diskontovaná doba návratnosti	31
Tab. 12.5: Upravená tabulka návratnosti	32
Tab. 12.6: Emise	33

16. Seznam obrázků

Obr. 12.1: Odtoková křivka	19
Obr. 12.2: Diagram S-Kaplan	20
Obr. 12.3: Závislost průtoku na počtu dní	23
Obr. 12.4: Závislost účinnosti na průtoku	25
Obr. 12.5: Výkupní ceny pro malé vodní elektrárny	28